

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-337236

(43)Date of publication of application : 07.12.2001

(51)Int.Cl.

G02B 6/12

(21)Application number : 2000-159811

(71)Applicant : NIPPON TELEGR &amp; TELEPH CORP &lt;NTT&gt;

(22)Date of filing : 30.05.2000

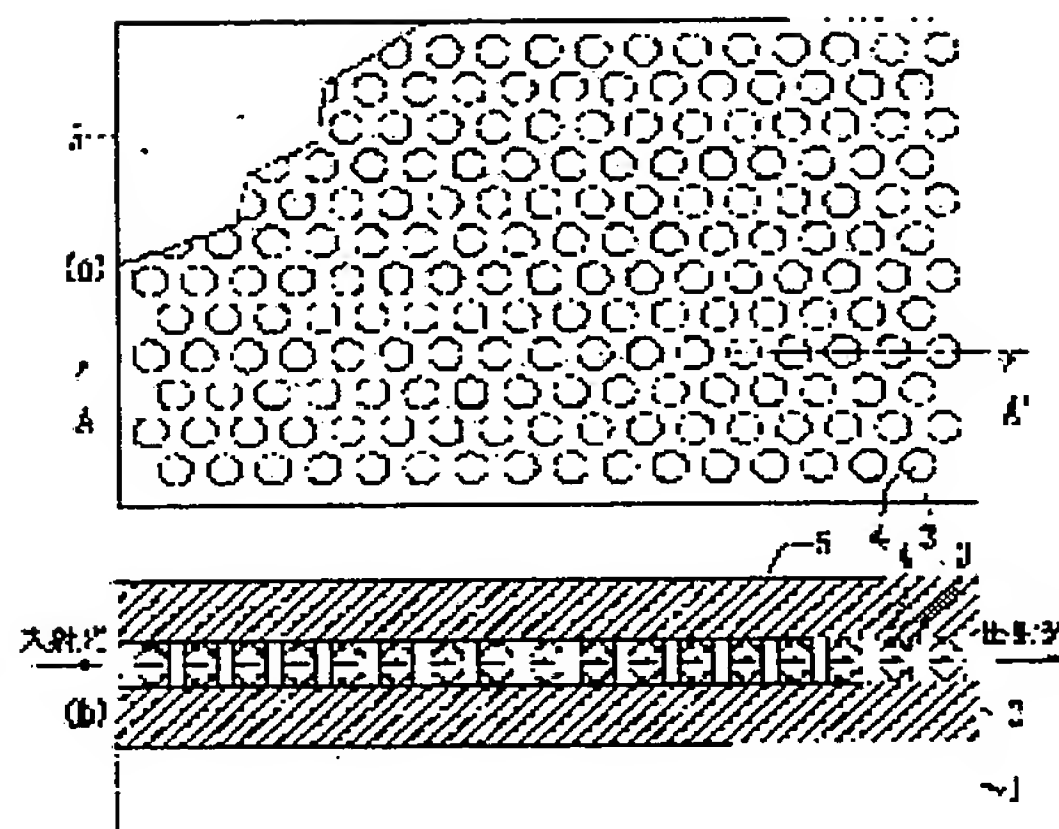
(72)Inventor : YOKOHAMA ITARU  
NOTOMI MASAYA  
ARAYA AKIHIKO  
TAMAMURA TOSHIAKI  
TOMARU AKIRA  
TAKAHASHI CHIHARU  
SUGITA AKIO

## (54) PHOTONIC CRYSTAL

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve such problems that propagation loss in the light propagating a conventional two-dimensional photonic crystal or in the light propagating a defective part of a conventional two-dimensional photonic crystal is high.

SOLUTION: The photonic crystal has a substrate 1, lower clad layer 2, light guide layer (3, 4) and upper clad layer 5. The light guide layer (3, 4) consists of a plurality of columnar parts (4) having a refractive index  $n_1$  arranged in the direction perpendicular to the substrate 1 and in a specified period between the lower clad layer 2 and the upper clad layer 5, and a part (3) having a refractive index  $n_2$  ( $n_1 \neq n_2$ ) possessing the space between the lower clad layer 2 and the upper clad layer 5 except the columnar part (4). The refractive index of the lower clad layer 2 is lower than both of the refractive indices  $n_1$  and  $n_2$ , and the refractive index of the upper clad layer 5 is lower than both of the refractive indices  $n_1$  and  $n_2$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

19.12.2001

[Date of sending the examiner's decision 27.09.2005  
of rejection]

[Kind of final disposal of application  
other than the examiner's decision of  
rejection or application converted  
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

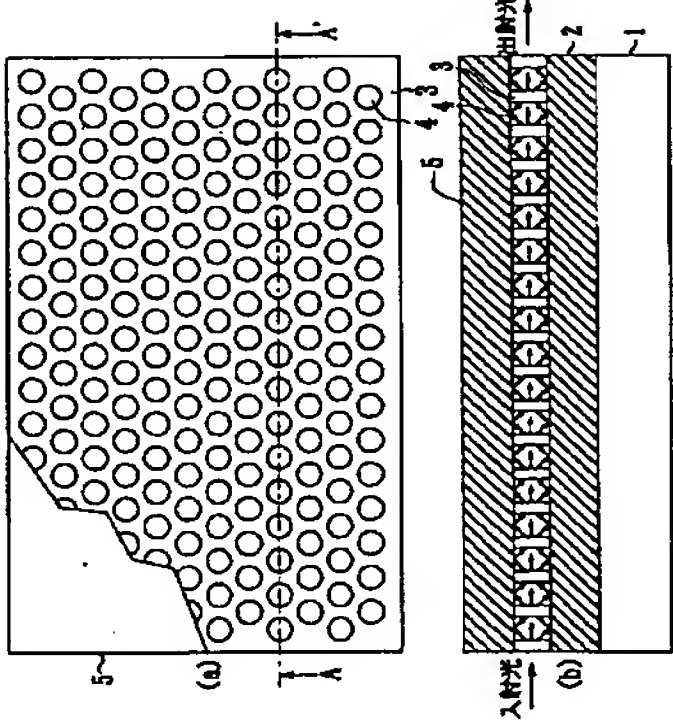
[Date of extinction of right]

(51)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	識別記号 F I G 0 2 B 6 / 12	7-71-1 (参考) Z 2 H 0 4 7 N
審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 12 頁)		

(21) 出願番号  (22) 出願日	特開2000－159811(P2000－159811)  平成12年 5 月30日 (2000. 5. 30)	(71) 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 (72) 発 明 者 横 浜 至 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内 (72) 発 明 者 納 富 雅 也 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内 (74) 代 理 人 100064621 弁理士 山 川 政 樹
		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フォトニック結晶

(57) 【要約】  
【課題】 従来の2次元フォトニック結晶中を伝搬する光、ならびに従来の2次元フォトニック結晶中の欠陥部を伝搬する光の伝搬損失が大きいという問題を解決する。  
【解決手段】 基板1と、下部クラッド層2と、光を導波する層(3、4)と、上部クラッド層5とを備え、光を導波する層(3、4)は、下部クラッド層2とを上部クラッド層5との間に基板1と直交する向きでかつ所定の周期で配設された屈折率 $n_1$ の複数の柱状部分(4)と、下部クラッド層2と上部クラッド層5との間のうち柱状部分(4)以外を占める屈折率 $n_2$ ( $n_1 \neq n_2$ )の部分(3)とで構成され、下部クラッド層2は、その屈折率が $n_1$ および $n_2$ の何れよりも低く、上部クラッド層5は、その屈折率が $n_1$ および $n_2$ の何れよりも低いものである。



【特許請求の範囲】  
【請求項1】 基板と、この基板上に形成された下部クラッド層と、この下部クラッド層上に形成され光を導波する層と、この光を導波する層上に形成された上部クラッド層とを備え、  
前記光を導波する層は、前記下部クラッド層と前記上部クラッド層との間に前記基板と直交する向きでかつ所定の周期で配設された屈折率 $n_1$ の複数の柱状部分と、前記下部クラッド層と前記上部クラッド層との間のうち前記柱状部分以外を占める屈折率 $n_2$ ( $n_1 \neq n_2$ )の部分とで構成され、  
前記下部クラッド層は、その屈折率が前記 $n_1$ および前記 $n_2$ の何れよりも低く、  
前記上部クラッド層は、その屈折率が前記 $n_1$ および $n_2$ の何れよりも低いことを特徴とするフォトニック結晶。  
【請求項2】 請求項1に記載のフォトニック結晶において、  
前記上部クラッド層は、前記複数の柱状部分の直上領域と前記屈折率 $n_2$ の領域の直上領域とで屈折率が異なることを特徴とするフォトニック結晶。  
【請求項3】 請求項1または請求項2に記載のフォトニック結晶において、  
前記下部クラッド層は、前記複数の柱状部分の直下領域と前記屈折率 $n_2$ の領域の直下領域とで屈折率が異なることを特徴とするフォトニック結晶。  
【請求項4】 請求項1乃至請求項3の何れか一項に記載のフォトニック結晶において、  
前記光を導波する層は、柱状物または空孔が基板上に周期的に形成された構造を有するとともに、この構造の一部に周期性の欠陥部分を有することを特徴とするフォトニック結晶。  
【請求項5】 請求項1乃至請求項4の何れか一項に記載のフォトニック結晶において、  
前記屈折率 $n_1$ の柱状部分または前記屈折率 $n_2$ の領域のうち、屈折率の低い何れか一つの領域は、エポキシ系ポリマーからなることを特徴とするフォトニック結晶。  
【請求項6】 請求項1乃至請求項5の何れか一項に記載のフォトニック結晶において、  
前記上部クラッド層は、エポキシ系ポリマーからなることを特徴とするフォトニック結晶。  
【請求項7】 請求項1乃至請求項6の何れか一項に記載のフォトニック結晶において、  
前記下部クラッド層は、前記屈折率 $n_1$ の柱状部分と前記屈折率 $n_2$ の領域のうち、屈折率の低い何れか一つの領域の直下の領域がエポキシ系ポリマーからなることを特徴とするフォトニック結晶。  
【発明の詳細な説明】  
【0001】  
【発明の属する技術分野】 本発明は、フォトニック結晶



い、垂直偏光に対する透過損失を測定したところ3 0 d B/mmとなり、比較的大きな損失値となっており、ミリメートル (mm) オーダーでの光の伝搬を行うことが難しいものである。

【0 0 0 6】従来の第一の構造のうち、柱状物を形成す構造の上面図とその「J－J’」線断面図を模式的に図1に示す。基板S i 1 0 1上に、S i O<sub>2</sub>層1 0 2が形成され、さらにその上に上部S i 層が形成されたS O 1基板を用い、上部S i 層にドライエッチングにより、周期的に円柱1 0 3が形成されている。この構造では、2次元の周期構造を有する円柱1 0 3 (屈折率約3. 5)を、屈折率の低いS i O<sub>2</sub>層1 0 2 (屈折率約1. 5)と空気層 (屈折率1. 0)とで挟み込んでおり、垂直方向の光の閉じ込めを図っている。

【0 0 0 7】この例では、円柱1 0 3の厚さが0. 2 μm、S i O<sub>2</sub>層1 0 2の厚さが3. 0 μm、また円柱1 0 3の直径が0. 1 6 μm、3角格子を形成している円柱1 0 3の周期が0. 4 μmとなっている。この試料では、波長1. 5 μmの電界の振動方向が基板1 0 1面内には垂直である垂直偏光は、2次元の周期構造を有する円柱1 0 3を透過し、電界の振動方向が基板1 0 1面内に水平である水平偏光は、フォトニックバンドギャップのため2次元の周期構造を有する円柱1 0 3を透過しない。しかし、垂直偏光に対する透過損失を測定したところ4 0 d B/mmとなり、比較的大きな損失値となっており、mmオーダーでの光の伝搬を行うことが難しいものである。

【0 0 0 8】従来の第二の構造のうち、空孔を形成する構造の上面図とその「J－J’」線断面図を模式的に図1に示す。下部A l G a A s層上にG a A s層 (厚さ0. 2 μm) が形成され、さらにその上に上部A l G a A s層 (厚さ0. 4 μm) が形成された基板に、ドライエッチングにより、周期的に空孔1 1 1 (深さ1. 0 μm) が形成されている。この構造では、2次元の周期構造を有するG a A s層1 1 2 (屈折率約3. 5)を、屈折率が低く同じく2次元の周期構造を有する上部A l G a A s層1 1 3 (屈折率約3. 0)と屈折率が低く一部が2次元周期構造を有する下部A l G a A s層1 1 4 (屈折率約3. 0)とで挟み込んでおり、垂直方向の光の閉じ込めを図っている。

【0 0 0 9】この例では、空孔1 1 1の直径が0. 3 μm、3角格子を形成している空孔1 1 1の周期が0. 4 μmとなっている。この試料では、波長1. 5 μmの電界の振動方向がG a A s層1 1 2の面内に垂直である垂直偏光は、2次元の周期構造を有するG a A s層1 1 2を透過し、電界の振動方向がG a A s層1 1 2の面内に水平である水平偏光は、フォトニックバンドギャップのため2次元の周期構造を有するG a A s層1 1 1を透過しない。しかし、垂直偏光に対する透過損失を測定したところ3 0 d B/mmとなり、比較的大きな損失値とな

っており、mmオーダーでの光の伝搬を行うことが難しいものである。

【0 0 1 0】また、従来の構造を使って、2次元周期構造の一部に欠陥を導入し、その欠陥部分に光を導波させることも検討されている。従来の第一の構造のうち、空孔を形成する構造に直線の欠陥部分を導入した構造の上面図とその「K－K’」および「L－L’」線断面図を模式的に図1、2に示す。基板S i 1 2 1上に、S i O<sub>2</sub>層1 2 2が形成され、さらにその上に上部S i 層1 2 3が形成されたS O 1基板を用い、上部S i 層1 2 3にドライエッチングにより、周期的に空孔1 2 4が形成されている。この構造では、2次元の周期構造を有する上部S i 層1 2 3 (屈折率約3. 5)を、屈折率の低いS i O<sub>2</sub>層1 2 2 (屈折率約1. 5)と空気層 (屈折率1. 0)とで挟み込んでおり、垂直方向の光の閉じ込めを図っている。

この例では、上部S i 層1 2 3の厚さが0. 2 μm、S i O<sub>2</sub>層1 2 2の厚さが3. 0 μm、また空孔1 2 4の直径が0. 3 μm、3角格子を形成している空孔1 2 4の周期が0. 4 μmとなっている。

【0 0 1 1】この試料では、前述したように波長1. 5 μmの電界の振動方向が基板1 2 1面内に垂直である垂直偏光は、2次元の周期構造を有する上部S i 層1 2 3を透過し、電界の振動方向が基板1 2 1面内に水平である水平偏光は、フォトニックバンドギャップのため2次元の周期構造を有する上部S i 層1 2 3を透過しない。

本試料では、周期構造の一部に空孔が1列抜けた直線状の欠陥導波路1 2 5が形成されている。欠陥導波路1 2 5に入射された水平偏光の波長1. 5 μmの光は、水平方向に関しては空孔1 2 4の周期構造がフォトニックバンドギャップとなっているため欠陥導波路1 2 5部分に閉じ込められ、垂直方向に関しては上下の屈折率差により欠陥導波路1 2 5部分に閉じ込められて、欠陥導波路1 2 5を伝搬する。しかし、水平偏光に対する欠陥導波路1 2 5の透過損失を測定したところ2 0 d B/mmとなり、比較的大きな損失値となっており、mmオーダーでの光の伝搬を行うことが難しく、光集積回路を作製することができなかった。

【0 0 1 2】本発明が解決しようとする課題】以上のように、従来の2次元フォトニック結晶の構成では、光伝搬媒体としての2次元フォトニック結晶の伝搬損失が大きく、フォトニック結晶の有する種々の特徴を活かしたデバイスへの応用が困難という問題点があった。

【0 0 1 3】本発明は、このような課題を解決するためのものであり、従来の2次元フォトニック結晶中を伝搬する光、ならびに従来の2次元フォトニック結晶中の欠陥部分を伝搬する光の伝搬損失が大ききという問題を容易に解決することができるフォトニック結晶を提供することを目的とする。

【0 0 1 4】

【0 0 1 9】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施の形態について図を用いて説明する。

【0 0 2 0】【第一の実施の形態】本発明の第一の実施の形態の構造を模式的に図1に示す (上面図 (上部クラッド層5の一部は除去) およびその「A－A’」線断面図)。基板1上に下部クラッド層2が形成され、さらに

その上に周期的に形成された空孔以外の部分3と周期的に形成された空孔を充填した部分4が形成され、さらにその上に上部クラッド層5が形成された構造となっている。この第一の実施の形態では、基板1はS iであり、下部クラッド層2はS i O<sub>2</sub>層 (屈折率約1. 5、厚さ3 μm)であり、周期的に形成された空孔以外の部分3はS i (屈折率約3. 5、厚さ0. 2 μm)であり、周期的に形成された空孔を充填した部分4はエポキシ系ポリマー (屈折率1. 6、厚さ0. 2 μm)であり、上部クラッド層5はフッ素化エポキシ系ポリマー (屈折率1. 5、厚さ3 μm)である。

【0 0 2 1】また、空孔を充填した部分4の直径が0. 3 μm、3角格子を形成し充填された周期的空孔の周期が0. 4 μmとなっている。本構造においては、周期的に形成された空孔以外の部分3のS iが、周期的構造における屈折率の高い部分になっており、周期的に形成された空孔を充填した部分4のエポキシ系ポリマーが屈折率の低い部分となっている。その結果、周期的に変化する構造の屈折率の低い部分の屈折率をn<sub>1</sub>、屈折率の低い部分の屈折率をn<sub>2</sub>とし、下部クラッド層の屈折率をn<sub>3</sub>、上部クラッド層の屈折率をn<sub>4</sub>としたとき、n<sub>1</sub><n<sub>3</sub>かつn<sub>1</sub><n<sub>4</sub>かつn<sub>2</sub><n<sub>3</sub><n<sub>4</sub>であり、かつ、n<sub>3</sub><n<sub>4</sub>かつn<sub>3</sub><n<sub>4</sub>の条件を満たしている。このため、図1の断面図に模式的に矢印で示したように、周期的構造の屈折率の低い部分の微視的構造においても屈折率差による垂直方向の光の閉じ込めがなされる構造となっている。

【0 0 2 2】第一の実施の形態の作製工程を図2に示す。

(a) S i層2 1上にS i O<sub>2</sub>層2 2が形成され、さらにその上にトップS i層2 3が形成されたS O 1基板上に、周期的構造を転写したN iマスク2 4を蒸着する。(b)ドライエッチングにより、N iマスク2 4の蒸着されていないトップS i層2 3に垂直孔を開け、空孔の残存部分のS i 2 5を形成する。

(c) N iマスク2 4をエッチングにより除去する。【0 0 2 3】(d) S i O<sub>2</sub>層2 2ならびに空孔の残存部分のS i 2 5上に、エポキシ系ポリマーをスピンコーティングにより塗布し、その後硬化させ、空孔を埋め込んだエポキシ系ポリマー層2 6を形成する。

(e)ドライエッチングにより、空孔を埋め込んだエポキシ系ポリマー層2 6を空孔の残存部分のS i 2 5の先端部分がほぼ露出するまでエッチングし、空孔を充填し

たエポキシ系ポリマー27を形成する。  
(f) さらにその上に、フッ素化エポキシ系ポリマーをスピニングにより塗布し、硬化させ、上部クラッド層となるフッ素化エポキシ系ポリマー層28を形成する。

【0024】この試料では、波長1.5μmの電界の振動方向が基板1面内に垂直である垂直偏光は、2次元の周期構造を有する空孔以外の部分3と空孔を充填した部分4を透過し、電界の振動方向が基板1面内に水平である水平偏光は、フォトリソックバンドギャップのため2次元の周期構造を有する空孔以外の部分3と空孔を充填した部分4を透過しない、垂直偏光に対する透過損失を測定したところ5dB/mmとなり、従来構造に比べて、1mmあたりで20dB以上の極めて大きな損失改善が得られ、本実施の形態の効果が極めて大きいことが示された。したがって、本実施の形態の試料は、mmオーダーでの光の伝搬を十分に行うことができる媒質といえる。また、本実施の形態では上部クラッド層および下部クラッド層に固体材料を用いたが、屈折率の条件を満たせば気体材料または液体材料であっても同様の効果を得ることができる。

【0025】【第二の実施の形態】本発明の第二の実施の形態を説明するが、構造は図1に示す第一の実施の形態と同一であり、一部材料が異なるものである。基板1上に下部クラッド層2が形成され、さらにその上に周期的に形成された空孔以外の部分3と周期的に形成された空孔を充填した部分4が形成され、さらにその上に上部クラッド層5が形成された構造となっている。第二の実施の形態では、基板1はSiであり、下部クラッド層2はSiO<sub>2</sub>層（屈折率約1.5、厚さ3μm）であり、周期的に形成された空孔以外の部分3はSi（屈折率約3.5、厚さ0.2μm）であり、周期的に形成された空孔を充填した部分4はGe添加SiO<sub>2</sub>（屈折率1.56、厚さ0.2μm）であり、上部クラッド層5はSiO<sub>2</sub>層（屈折率1.5、厚さ3μm）である。

【0026】また、空孔を充填した部分4の直径が0.3μm、3角格子を形成し充填された周期的空孔の周期が0.4μmとなっている。本構造においては、周期的に形成された空孔以外の部分3のSiが、周期的構造における屈折率の高い部分になっており、周期的に形成された空孔を充填した部分4のGe添加SiO<sub>2</sub>が屈折率の低い部分となっている。その結果、周期的に変化する構造の屈折率の高い部分の屈折率をn<sub>1</sub>、屈折率の低い部分の屈折率をn<sub>2</sub>とし、下部クラッド層の屈折率をn<sub>3</sub>、上部クラッド層の屈折率をn<sub>4</sub>としたとき、n<sub>1</sub><n<sub>3</sub><n<sub>4</sub>かつn<sub>1</sub><n<sub>2</sub>であり、かつn<sub>3</sub><n<sub>4</sub>かつn<sub>1</sub><n<sub>2</sub>の条件を満たしている。このため、第一の実施の形態と同様に、図1の断面図に模式的に矢印で示したように、周期的構造の屈折率の低い部分の微視的構造においても屈折率逆による垂直方向の光の閉じ込めがな

される構造となっている。  
【0027】次に、第二の実施の形態の作製工程を図3に示す。

(a) Si層31上にSiO<sub>2</sub>層32が形成され、さらにその上にトップSi層33が形成されたSOI基板上に、周期的構造を転写したNiマスク34を蒸着する。

(b) ドライエッチングにより、Niマスク34の蒸着されていないトップSi層33に垂直孔を開け、空孔の残存部分のSi35を形成する。

(c) Niマスク34をエッチングにより除去する。

【0028】(d) SiO<sub>2</sub>層32ならびに空孔の残存部分のSi35上に、Ge添加SiO<sub>2</sub>をスパッタリングにより堆積し、空孔を埋め込んだGe添加SiO<sub>2</sub>層36を形成する。

(e) ドライエッチングにより、空孔を埋め込んだGe添加SiO<sub>2</sub>層36を空孔の残存部分のSi35の先端部分がほぼ露出するまでエッチングし、空孔を充填したGe添加SiO<sub>2</sub>37を形成する。

(f) さらにその上に、SiO<sub>2</sub>をスパッタリングにより堆積し、上部クラッド層となるSiO<sub>2</sub>層38を形成する。

【0029】この試料では、第一の実施の形態と同様に、波長1.5μmの電界の振動方向が基板1面内に垂直である垂直偏光は、2次元の周期構造を有する空孔以外の部分3と空孔を充填した部分4を透過し、電界の振動方向が基板1面内に水平である水平偏光は、フォトリソックバンドギャップのため2次元の周期構造を有する空孔以外の部分3と空孔を充填した部分4を透過しない、垂直偏光に対する透過損失を測定したところ6dB/mmとなり、従来構造に比べて、1mmあたりで20dB以上の極めて大きな損失改善が得られ、第一の実施の形態と同様に本発明の効果が極めて大きいことが示された。本実施の形態の試料は、mmオーダーでの光の伝搬を十分に行うことができる媒質である。

【0030】【第三の実施の形態】本発明の第三の実施の形態の構造を模式的に図4に示す（上面図（上部クラッド層45の一部は除去）およびそのB-B'線断面図）。第三の実施の形態では周期的に柱状物を形成した構造となっている。基板41上に、下部クラッド層42が形成され、さらにその上に周期的に形成された円柱部分43と周期的に形成された円柱以外の部分を充填した部分44が形成され、さらにその上に上部クラッド層45が形成された構造となっている。第三の実施の形態では、基板41はSiであり、下部クラッド層42はSiO<sub>2</sub>層（屈折率約1.5、厚さ3μm）であり、周期的に形成された円柱部分43はSi（屈折率約3.5、厚さ0.2μm）であり、周期的に形成された円柱以外の部分を充填した部分44はエポキシ系ポリマー（屈折率1.6、厚さ0.2μm）であり、上部クラッド層45はフッ素化エポキシ系ポリマー（屈折率1.5、厚さ3

0.2μm）であり、第二の上部クラッド層56はフッ素化エポキシ系ポリマー（屈折率1.5、厚さ0.4μm）であり、第二の下部クラッド層57はフッ素化エポキシ系ポリマー（屈折率1.5、厚さ0.4μm）である。

【0035】その結果、第一のコア層の屈折率をn<sub>1</sub>、第一の上部クラッド層の屈折率をn<sub>2</sub>、第一の下部クラッド層の屈折率をn<sub>3</sub>、第二のコア層の屈折率をn<sub>4</sub>、第二の上部クラッド層の屈折率をn<sub>5</sub>としたとき、n<sub>1</sub><n<sub>3</sub>かつn<sub>1</sub><n<sub>2</sub>かつn<sub>3</sub><n<sub>4</sub>かつn<sub>2</sub><n<sub>4</sub>であり、かつn<sub>2</sub><n<sub>3</sub>かつn<sub>3</sub><n<sub>4</sub>かつn<sub>1</sub><n<sub>2</sub>かつn<sub>3</sub><n<sub>4</sub>の条件を満たしている。このため、図5の断面図に模式的に矢印で示したように、周期的構造の屈折率の低い部分の微視的構造においても屈折率逆による垂直方向の光の閉じ込めがなされる構造となっている。

【0036】第四の実施の形態の作製工程を図6に示す。

(a) AlGaAs層61上にGaAs層62が形成され、さらにその上にトップAlGaAs層63が形成された基板の上に、周期的構造を転写したNiマスク64を蒸着する。

(b) ドライエッチングにより、Niマスク64の蒸着されていないトップAlGaAs層63およびGaAs層62を貫通してAlGaAs層61の一部までに垂直孔を開け、空孔の残存部分を形成する。これにより、第一のコア層65、第一の上部クラッド層66、第一の下部クラッド層67が形成される。

(c) Niマスク64をエッチングにより除去する。  
【0037】(d) 空孔を形成したAlGaAs層ならびに空孔の残存部分上に、第一の下部クラッド層の厚さである0.4μm厚だけスパッタリングによりSiO<sub>2</sub>を堆積し、第二の下部クラッド層68を形成する。この程度の厚さの堆積では空孔は埋め込まれることなく堆積できる。

(e) さらに、第一のコア層の厚さである0.2μm厚だけスパッタリングによりGe添加SiO<sub>2</sub>を堆積し、第二のコア層69を形成する。

(f) さらに、第一の上部クラッド層の厚さである0.4μm厚だけスパッタリングによりSiO<sub>2</sub>を堆積し、第二の上部クラッド層610を形成する。

(g) 空孔の残存部分上の堆積物をエッチングにより除去する。

【0038】この試料では、波長1.5μmの電界の振動方向が基板51面内に垂直である垂直偏光は、第一のコア層52と第二のコア層55を透過し、電界の振動方向が基板51面内に水平である水平偏光は、フォトリソバンドギャップのため第一のコア層52と第二のコア層55を透過しない、垂直偏光に対する透過損失を測定したところ5dB/mmとなり、従来構造に比べて、1



mmあたりで20 dB以上の極めて大きな損失改善が得られ、本発明の効果が極めて大きいことが示された。本実施の形態の試料は、mmオーダーでの光の伝搬を十分に行うことができる媒質である。

【0039】本実施の形態では、周期的構造の屈折率の高い部分が空孔の環形部分であったが、屈折率の高い部分が柱状物（例えば円柱）であっても同様に損失低減がなされることはもちろんである。

【0040】〔第五の実施の形態〕次に、2次元図形期構造の一部に欠陥を導入し、その欠陥部分に光を導波させようとする場合の実施の形態について説明する。本発明の第五の実施の形態の構造の構造を模式的に図1に示す（上面図（上部クラッド層75の一部を除く）およびそのD-D'、E-E'、横断面図）。第五の実施の形態は、第一の実施の形態の図1の構造の一部に直線状の欠陥を設け、空孔が1列並べられた構造となっており欠陥導波路76を形成している。基板71上に下部クラッド層72が形成され、さらにその上に図1に図形的に形成された空孔以外の部分73と74にその上に図形的に形成された空孔以外の部分73と74が形成され、さらにその上に上部クラッド層75が形成された構造となっており、さらに上面図に示すように直線状の欠陥導波路76が形成されている。

【0041】この第五の実施の形態では、第一の実施の形態と同様、基板71はSiであり、下部クラッド層72はSiO<sub>2</sub>層（屈折率約1.5、厚さ3μm）であり、局所的に形成された空孔以外の部分73はSi（屈折率約3.5、厚さ0.2μm）であり、局所的に形成された空孔を充填した部分74はエポキシ系ポリマー（屈折率1.6、厚さ0.2μm）であり、上部クラッド層75はフッ素化エポキシ系ポリマー（屈折率1.

5、厚さ3μm)である。また、矢張澤波路76は周期的に形成された空孔以外の部分73と同じSiである。また、空孔を充填した部分74の直径が0.3μm、3μm、4μmとなつて、角格子を形成し充填された周期的空孔の周期が0.4μmとなつてゐる。

【0042】本構造においては、周期的に形成された空孔以外の部分 7 3 の  $S_i$  が、周期的構造における屈折率  $n_1$  の高い部分になっており、周期的に形成された空孔を充て込んだ部分 7 4 のエポキシ系ポリマーマトリックスが屈折率の低い部分となっている。その結果、周期的に変化する構造の屈折率の高い部分の屈折率を  $n_1$ 、屈折率の低い部分の屈折率を  $n_2$  とし、下部クラッドの屈折率を  $n_3$  としたとき、 $n_1 < n_2 < n_3$  かつ  $n_1 < n_2 < n_3$  であり、かつ  $n_1 < n_2 < n_3$  かつ  $n_1 < n_2 < n_3$  の条件を満たしている。このため、図 17 の断面図に模式的に矢印で示したように、周期的構造の屈折率の低い部分の微視的構造においても屈折率  $n_1$  による垂直方向の光の閉じ込めがなされる構造となっている。

【0043】第五の実施の形態の作製工程は、第一の実施の形態と同一であり、マスクパターン形状が異なるの

1. 6、厚さ0.2  $\mu\text{m}$ )であり、上部クラッド層85はフッ素化エポキシ系ポリマー(屈折率1.5、厚さ3  $\mu\text{m}$ )である。また、欠陥導波路86は周期的に形成された空孔以外の部分83と同じS1である。また、空孔を充填した部分84の直径が0.3  $\mu\text{m}$ 、3角格子を形成し充填された周期的空孔の周期が0.4  $\mu\text{m}$ となっている。

【0048】本構造においては、周期的に形成された空孔以外の部分83のSiが、周期的構造における屈折率の低い部分になっており、周期的に形成された空孔を充填した部分84のエポキシ系ポリマーが屈折率の低い部分となっている。その結果、周期的に変化する構造の屈折率の高い部分の屈折率を $n_1$ 、屈折率の低い部分の屈折率を $n_2$ とし、下部クラッド層の屈折率を $n_3$ 、上部クラッド層の屈折率を $n_4$ としたとき、 $n_1 < n_2 < n_3$ かつ $n_1 < n_2 < n_3 < n_4$ であり、かつ $n_3 < n_4$ かつ $n_1 < n_2$ の条件を満たしている。このため、図8の断面図に模式的に矢印で示したように、周期的構造の屈折率の低い部分の微視的構造においても屈折率差による垂直方向の光の閉じ込めがなされる構造となっている。

【0049】第六の実施の形態の作製工程は、第一の実施の形態と同一であり、マスキングパターン形状が異なるのみである。この試料では、波長1.5  $\mu\text{m}$ の電界の振動方向が基板81面内に垂直である垂直偏光は、2次元の同期構造を有する空孔以外の部分83と空孔を充填した部分84を透過し、電界の振動方向が基板81面内に水平である水平偏光は、フォトリソニックバンドギャップのため2次元の同期構造を有する空孔以外の部分83と空孔を充填した部分84を透過しない。

【0050】本試料では、周期構造の一部に空孔が1列抜けた曲り欠陥導波路86が形成されている。曲り欠陥導波路76に入射された水平偏光の波長 $1.5\mu\text{m}$ の光は、水平方向に関しては充填された空孔の周期的構造オプトニックバンドギャップとなっているため周期的構造を有する空孔以外の部分83と空孔を充填した部分84に光が入射することができず反射されることにより曲り欠陥導波路86部分に閉じ込められ、垂直方向に関しては上下の屈折率空孔により曲り欠陥導波路86部分に閉じ込められて、曲り欠陥導波路86を伝搬する。

【0051】しかしながら、伝搬する光は完全に欠陥導波路 8 6 内のみ伝搬するのではなく、厳密には光の若干部分が欠陥導波路外にしみだした状態で伝搬する。このため、欠陥導波路外側の周期構造を有する空孔以外の部分 8 3 と空孔を充填した部分 8 4 の伝搬において垂直方向への散乱損失が大きければ、欠陥導波路を伝搬する光の伝搬損失も大きくなる。従来は欠陥導波路自体の損失値が  $20 \text{ dB/mm}$  以上と大きかったため、曲げ部分の曲げ損失が精確に決定できなかったが、本実施の形態で、水平偏光に対する曲り欠陥導波路 8 6 (全長  $1 \text{ m}$ 、曲り箇所 1 箇所)の透過損失を測定したところ、

2. 5 dB となり、本実施の形態での曲り部分の損失は 0. 5 dB と見積ることができた。曲り部分においても、曲り導波路外側への光のにじみだしはより大きくなるため、本実施の形態の構造は、曲り損失低減にも効果があると考えられる。本発明の効果により、曲り導波路においても低損失な光導波路が実現できることが示された。

【0052】以上の第一の実施の形態から第六の実施の形態により本発明を説明したが、本発明は上記実施の形態の構造および材料に限定されるものでないことは明らかである。

**[0053]**

【暴明の効果】以上説明したとおり本発明によれば、屈折率 $n_1$ の複数の柱状物を屈折率 $n_2$ の領域中に周期的に配置することで屈折率を周期的に変化させた層を、前記層と、前記層および前記層よりも屈折率の低い下部クラッド層と、前記層、および $n_1$ よりも屈折率の低い上部クラッド層とで挟むことにより、従来垂直方向の光の閉じ込め構造が微視的になされていなかった空孔層あるいは柱状物以外の部分についても、微視的に屈折率差による垂直方向閉じ込め構造を形成している。

【0054】その結果、2次元フォトニック結晶品があるいは2次元フォトニック結晶欠陥導波路の伝播損失が大ききという問題点を解決し、低損失2次元フォトニック結晶品および低損失2次元フォトニック結晶欠陥導波路を実現することができ、種々の光デバイス（例えば光情報処理や光伝送等に用いられるレーザ、光導波路、光集積回路等）への応用が可能となる。

【0055】また、光を導波する層における柱状物または空孔の一部に、周期性の欠陥部分を導入することにより、例えば直線上の欠陥導波路または角度60度の曲り、欠陥導波路等を容易に作成することができる。本発明の装置では、これら欠陥導波路における曲り損失の低減に効果的である。また、下部クラッド層、上部クラッド層にエポキシ系ポリマーやフッ素化エポキシ系ポリマーを用いることにより、Siyも低屈折率を容易に実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第一および第二の実施の形態の構造（周期的に空孔を配置）を示す模式図である。

【図2】 本発明の第一の実施の形態（周期的に空孔を配置）の作製工程を示す模式図である。

【図3】 本発明の第二の実施の形態（周期的に空孔を配置）の作製工程を示す模式図である。

【例4】 本発明の第三の実施の形態の構造（図4）に  
円柱を配置）を示す模式図である。

【図5】 本発明の第四の実施の形態の構造（周期的に）空孔を配置、かつ、上部クラッド層および下部クラッド層にも空孔を形成）を示す模式図である。

【図6】 本発明の第四の実施の形態（周期的に空孔を

配置、かつ、上部クラッド層および下部クラッド層にも空孔を形成)の作製工程を示す模式図である。

【図7】本発明の第五の実施の形態の構造(直線状の欠陥)を示す模式図である。

【図8】本発明の第六の実施の形態の構造(角度60度の曲り欠陥)を示す模式図である。

【図9】従来の2次元フォトリソニック結晶の一構造(周期的に空孔を配置)を示す模式図である。

【図10】従来の2次元フォトリソニック結晶の一構造(周期的に円柱を配置)を示す模式図である。

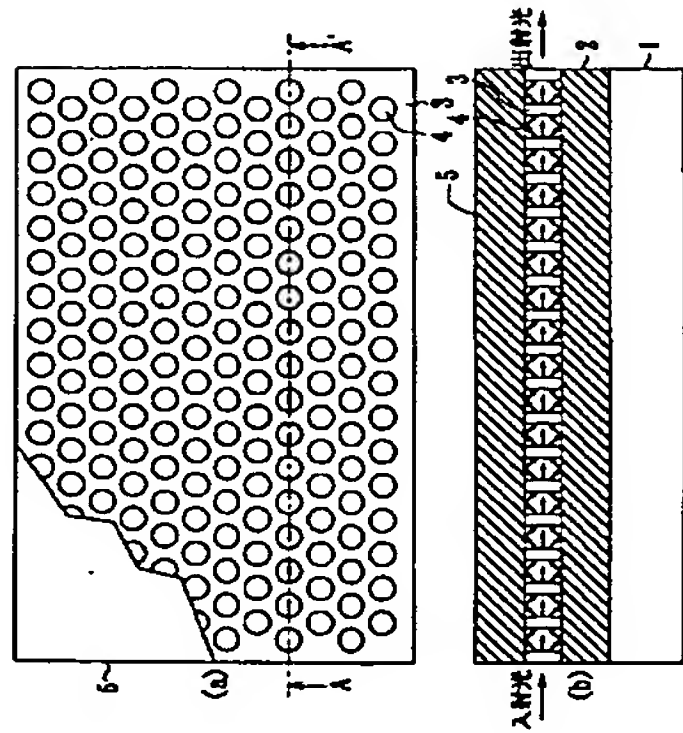
【図11】従来の2次元フォトリソニック結晶の一構造(周期的に空孔を配置、かつ、上部クラッド層および下部クラッド層にも空孔を形成)を示す模式図である。

【図12】従来の2次元フォトリソニック結晶欠陥導波路の一構造(直線状欠陥)を示す模式図である。

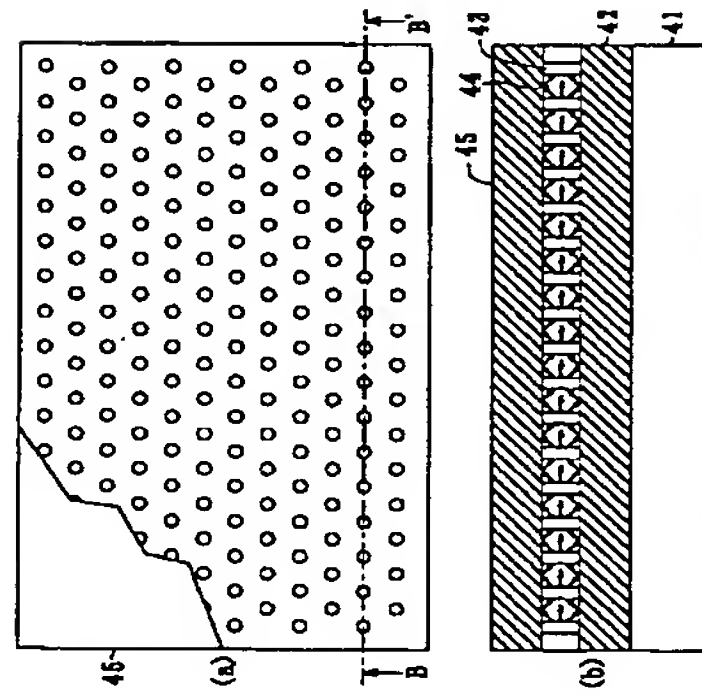
【符号の説明】

1…基板、2…下部クラッド層、3…周期的に形成された空孔以外の部分、4…周期的に形成された空孔を充填した部分、5…上部クラッド層、21…Si層、22…SiO<sub>2</sub>層、23…トップSi層、24…Niマスク、25…空孔の埋め込んだエポキシ系ポリマー層、26…空孔を充填したエポキシ系ポリマー、28…上部クラッド層となるフッ素化エポキシ系ポリマー層、31…Si層、32…SiO<sub>2</sub>層、33…トップSi層、34…Niマスク、35…空孔の埋め込んだGe添加SiO<sub>2</sub>層、36…空孔を埋め込んだGe添加SiO<sub>2</sub>層、37…空孔を充填したGe添加SiO<sub>2</sub>層、3

【図1】

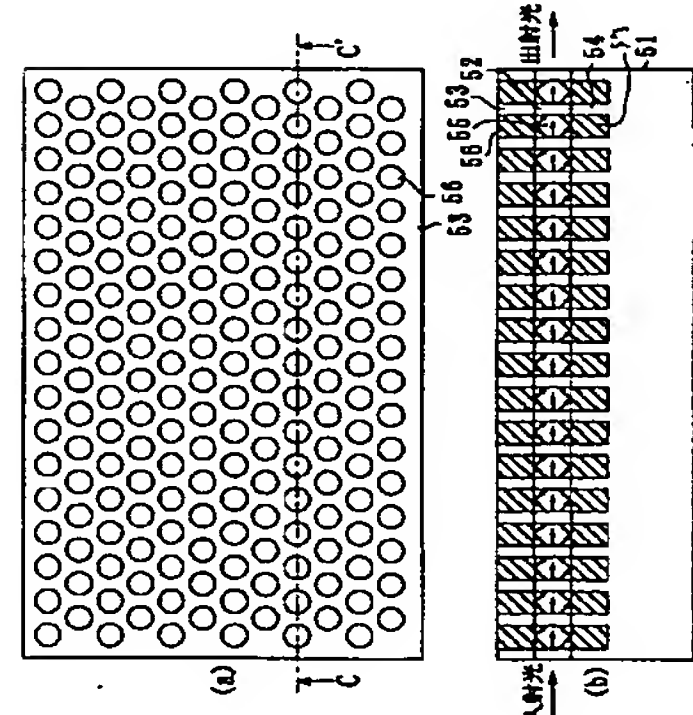


【図4】

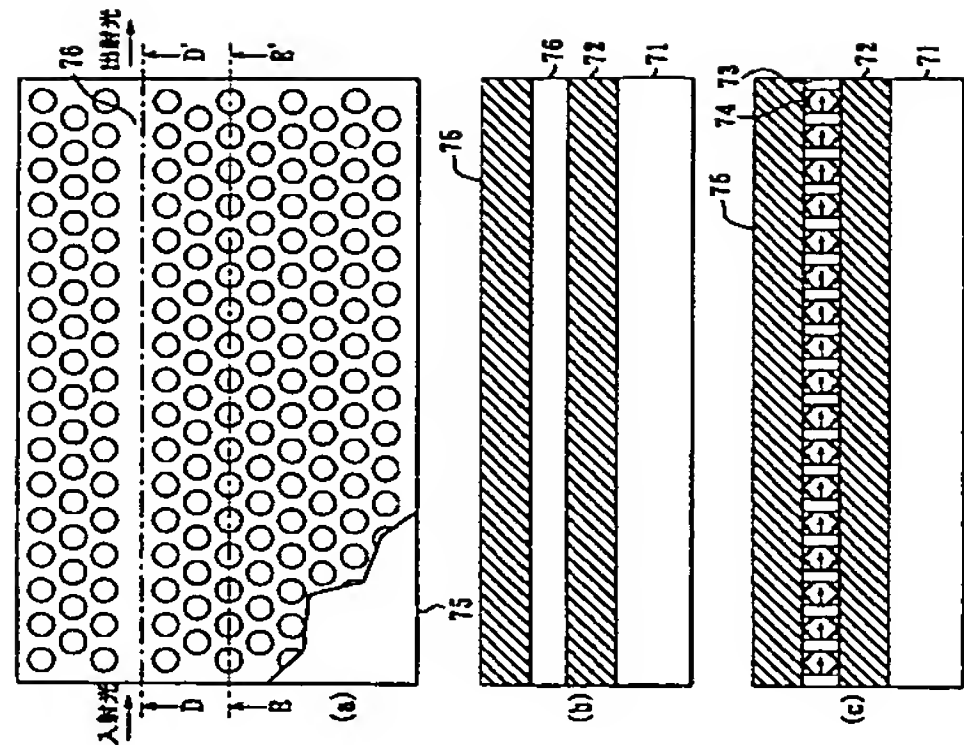


8…上部クラッド層となるSiO<sub>2</sub>層、41…基板、42…下部クラッド層、43…周期的に形成された空孔以外の部分、44…周期的に形成された空孔を充填した部分、45…上部クラッド層、51…基板、52…第一のコア層、53…第一の上部クラッド層、54…第一の下部クラッド層、55…第二のコア層、56…第二の上部クラッド層、57…第二の下部クラッド層、61…AlGaAs層、62…GaAs層、63…トップAlGaAs層、64…Niマスク、65…第一のコア層、66…第一の上部クラッド層、67…第一の下部クラッド層、68…第二の下部クラッド層、69…第二のコア層、610…第二の上部クラッド層、71…基板、72…下部クラッド層、73…周期的に形成された空孔以外の部分、74…周期的に形成された空孔を充填した部分、75…上部クラッド層、76…直線欠陥導波路、81…基板、82…下部クラッド層、83…周期的に形成された空孔以外の部分、84…周期的に形成された空孔を充填した部分、85…上部クラッド層、86…曲り欠陥導波路、91…基板Si、92…SiO<sub>2</sub>層、93…上部Si層、94…空孔、101…基板Si、102…SiO<sub>2</sub>層、103…円柱、111…空孔、112…2次元の周期構造を有するGaAs層、113…2次元の周期構造を有する上部AlGaAs層、114…2次元の周期構造を有する下部AlGaAs層、121…基板Si、122…SiO<sub>2</sub>層、123…上部Si層、124…空孔。

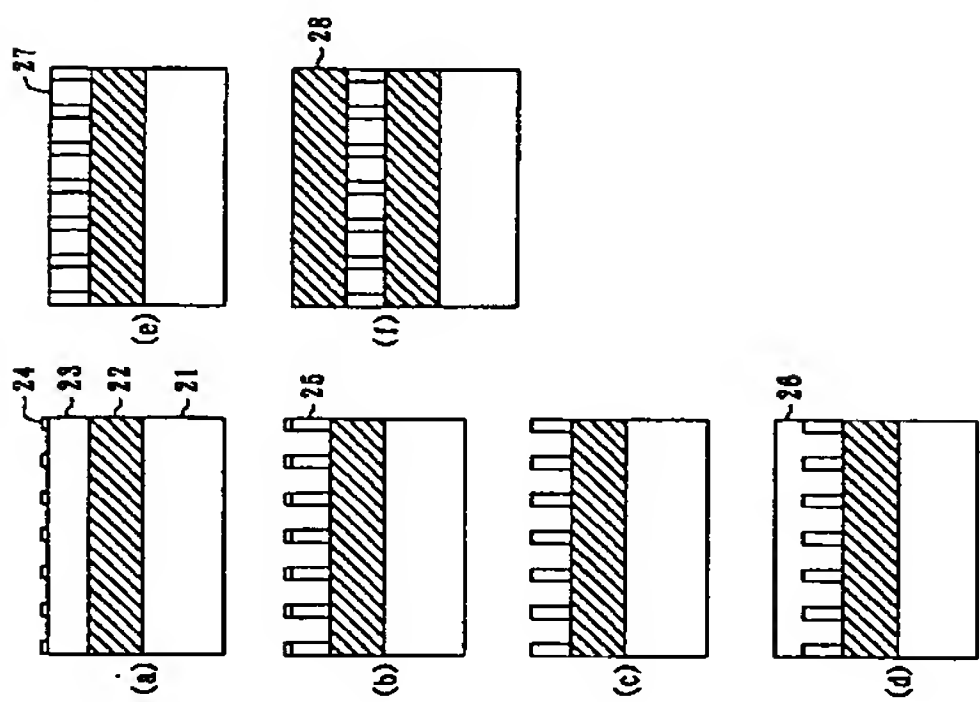
【図5】



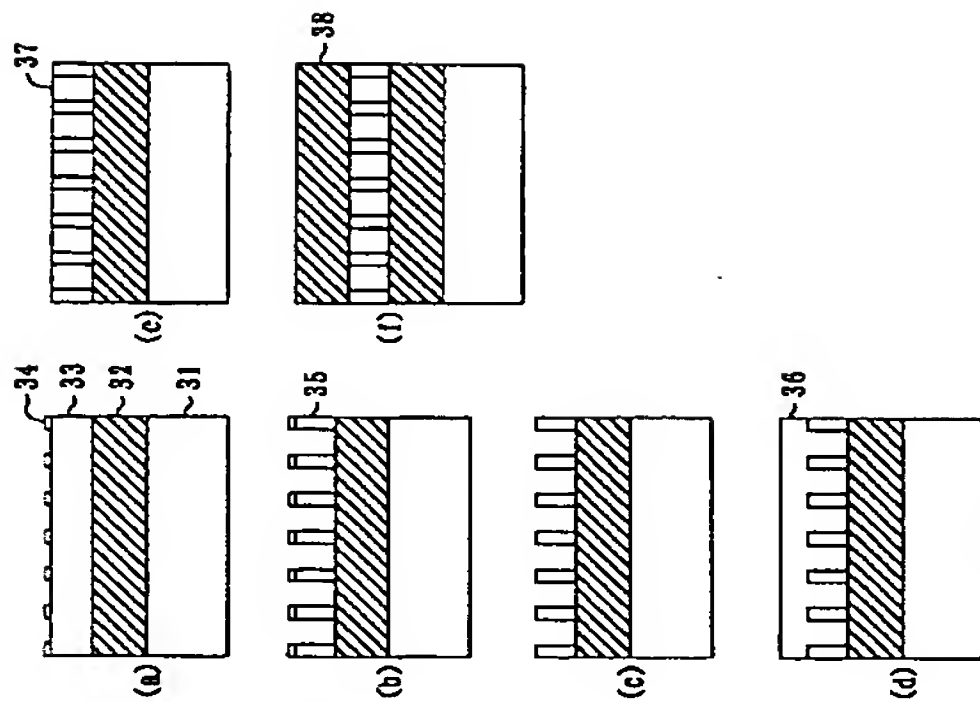
【図7】



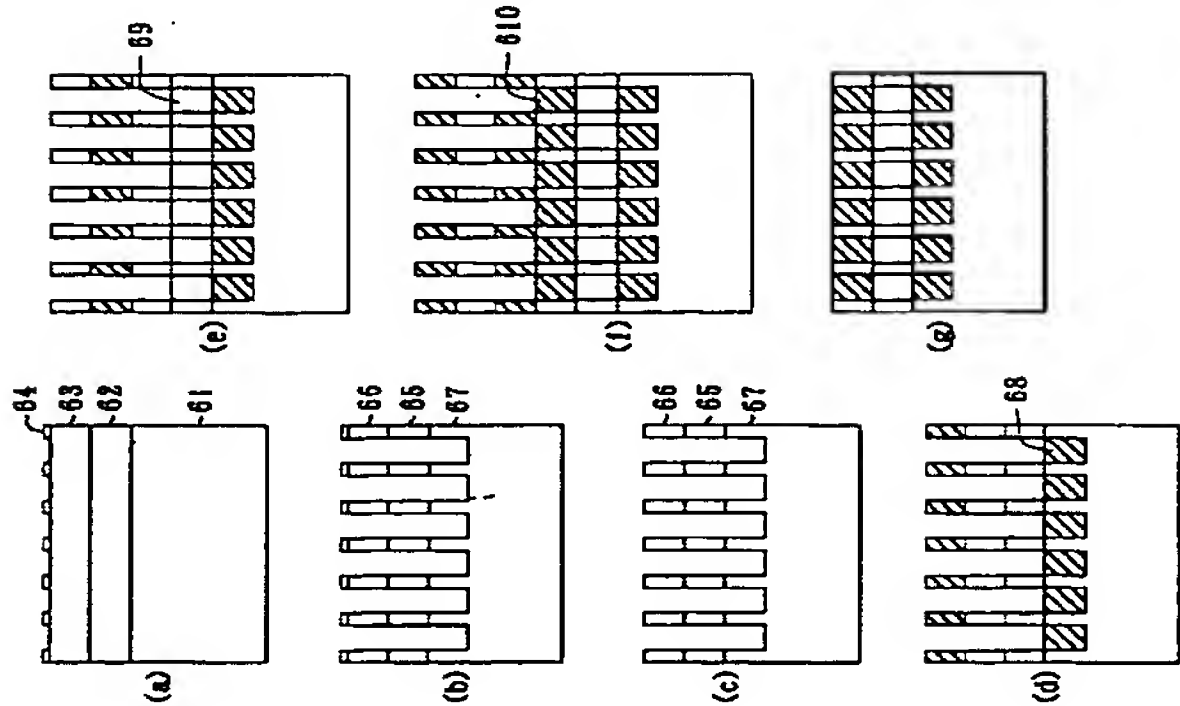
【図2】



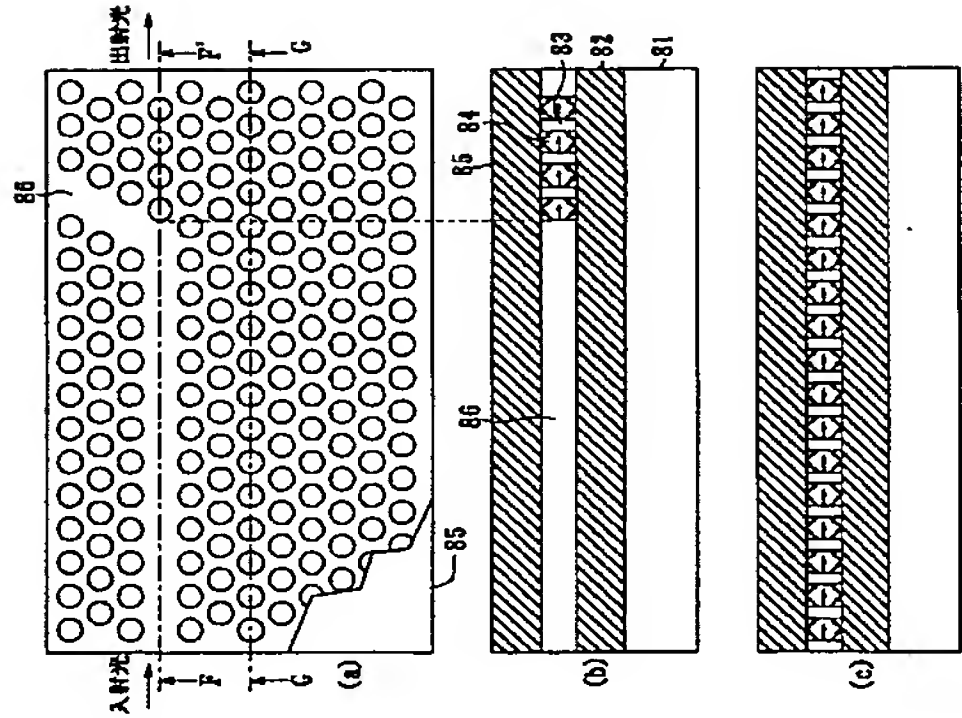
【図3】



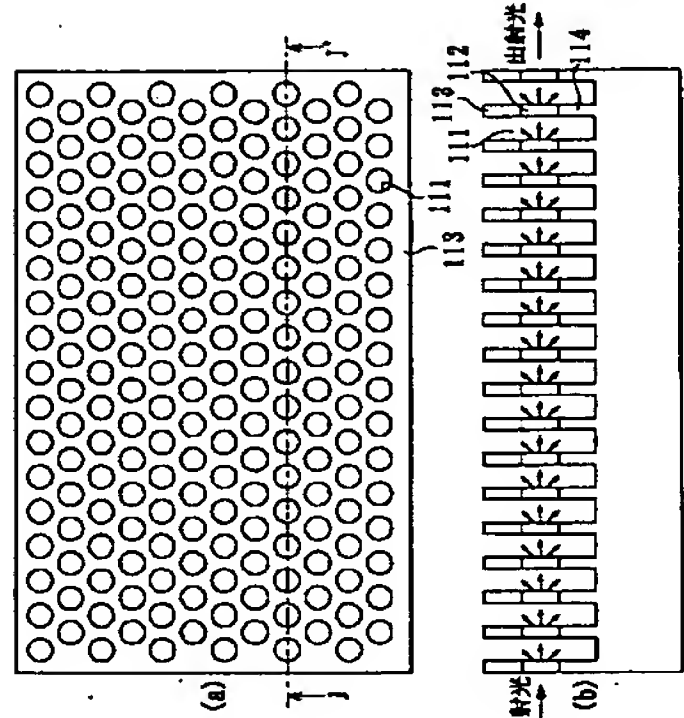
【図 6】



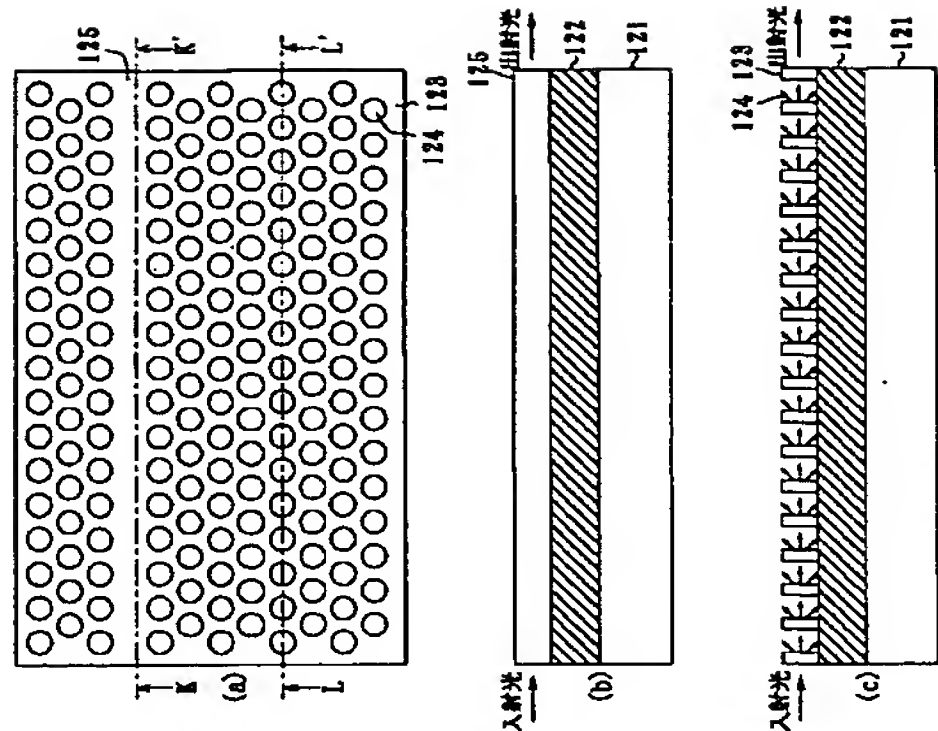
【図 8】



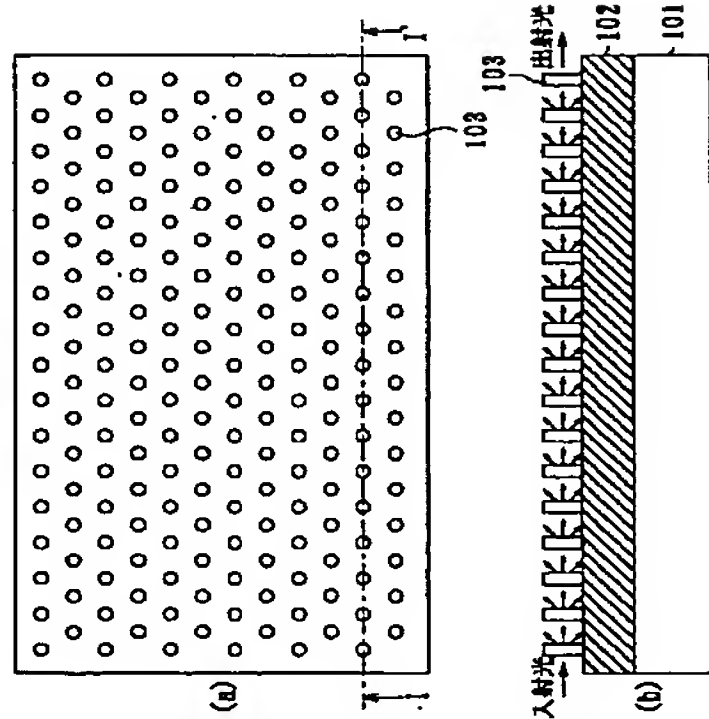
【図 11】



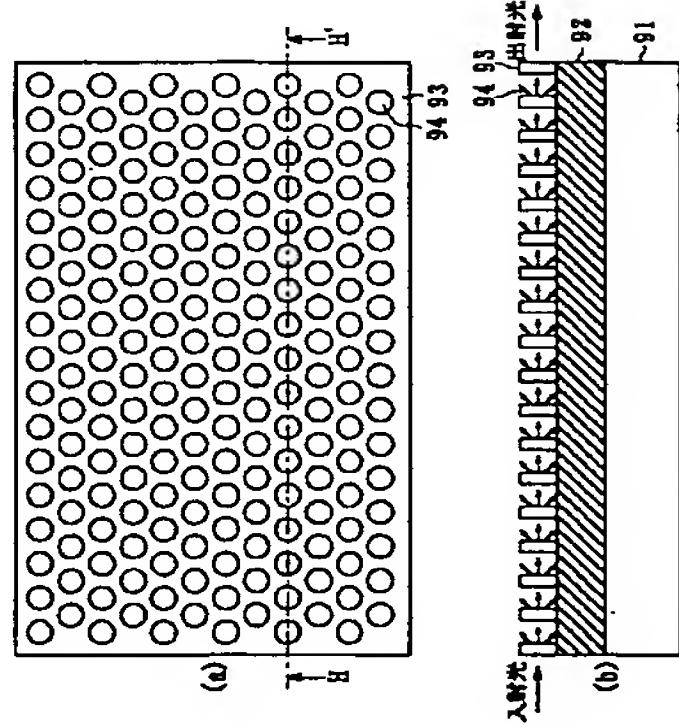
【図 12】



【図 10】



【図 9】



フロントページの続き

(72)発明者	新家 昭彦	(72)発明者	都丸 暁
	東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日		東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日
	本電信電話株式会社内		本電信電話株式会社内
(72)発明者	玉村 敏昭	(72)発明者	高橋 千春
	東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日		東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日
	本電信電話株式会社内		本電信電話株式会社内
(72)発明者		(72)発明者	杉田 彰夫
			東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日
			本電信電話株式会社内
			F ターム (参考) 2H047 KA04 KA11 QA05 QA07



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**